УДК 551.583.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕАНАЛИЗОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА УРАЛЕ И В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX – НАЧАЛЕ XXI ВЕКОВ

В. В. ФОМИН – доктор биологических наук,
директор Научно-образовательного центра
«Дендроэкология и садоводство»*,
e-mail: fominvv@m.usfeu.ru,
тел.: +7 (343) 262-46-16
ORCID: 0000-0002-9211-5627

М. Г. УНДЕРСКИХ – студент*,
e-mail: underskikhmg@m.usfeu.ru,
тел.: +7 912 801 29 79
ORCID: 0000-0002-6569-6040

*ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

Рецензент: *Голиков Дмитрий Юрьевич, канд. с-х. наук, научный сотрудник лаборатории экологии древесных растений Ботанического сада УрО РАН.*

Ключевые слова: *реанализ, изменение климата, пространственно-временная динамика, вторая половина XX – начало XXI вв., Урал, Западная Сибирь.*

Проведен анализ пространственно-временной динамики приземной среднегодовой температуры воздуха на территории Урала и Западной Сибири по данным 92 метеостанций и реанализов ERA-20C и CERA-20C за период с 1961 по 2010 гг. Установлено, что значения коэффициента корреляции за исследуемый временной промежуток между данными инструментальных метеонаблюдений и данными реанализов ERA-20C и CERA-20C лежат в интервалах 0,81–0,97 и 0,86–0,98 соответственно. Данные по температуре воздуха реанализа CERA-20C лучше согласуются со значениями температуры, полученными на метеостанциях, по сравнению с данными реанализа ERA-20C. В южной части района исследований коэффициенты корреляции ниже, чем в регионах, расположенных севернее. В целом данные реанализа CERA-20C целесообразно использовать при проведении исследований, связанных с климатической изменчивостью и региональным изменением климата Урала и Западной Сибири на участках, находящихся на удалении от метеостанций.

THE ASESSMENT OF THE SPATIAL AND TEMPORAL DYNAMICS OF AIR TEMPERATURE OF AIR TEMPERATURE IN THE URALS AND WESTERN SIBERIA IN THE SECOND HALF OF THE 20TH-EARLY 21TH CENTURIES WITH THE USE OF REANALYSIS

V. V. FOMIN – Doctor of Biological Sciences, head of Research and Educational Center of Dendroecology and Horticulture*,
fominvv@m.usfeu.ru,
phone:+7 902 272 34 08
ORCID: 0000-0002-9211-5627

M. G. UNDERSKIKH – student*,
e-mail: underskikhmg@m.usfeu.ru,
phone: +7 912 801 29 79
ORCID: 0000-0002-6569-6040

* Ural state forest engineering university,
620100, Russia, Yekaterinburg, Siberian trakt, 37

Reviewer: *Golikov Dmitriy Yurievich, candidate of agricultural sciences, researcher at the laboratory of ecology of woody plants of the Botanical garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.*

Keywords: *reanalysis, climate change, spatio-temporal dynamics, second half of 20th – early 21th centuries, Urals and Western Siberia.*

The analysis of the spatio-temporal dynamics of the mean annual air temperature in the Urals and Western Siberia on the basis of data of 92 weather stations and reanalysis ERA-20C and CERA-20C for the period from 1961 to 2010 was implemented. It was found that the values of the correlation coefficients for the studied time interval between the meteorological data and the data of reanalysis ERA-20C and CERA-20C lie in the intervals of 0,81–0,97 and 0,86–0,98, respectively. The reanalysis of CERA20C is in better agreement with the data obtained at weather stations compared to the reanalysis of ERA20C. In the southern part of the research area, the correlation coefficients are lower than in the regions located to the North. In general, data of the CERA-20C reanalysis should be used for studies related to climate variability and regional climate change in the Urals and Western Siberia at sites located at a significant distance from weather stations.

Введение

Изменения, происходящие в климатической системе Земли, являются предметом многочисленных исследований. Установлена связь между положительным трендом изменения температуры воздуха и океана [1], повышением экстремальности климата [2], деградацией вечной мерзлоты, увеличением речного стока, сокращением площади ледяного покрова в полярных регионах [3]. Наиболее существенное потепление происходит в северных широтах [3]. В научной литературе существуют разные оценки изменения климата в будущем. По прогнозам межправительственной группы экспертов, увеличение температуры будет продолжаться [1], по результатам других исследований, до 2025 г. будет наблюдаться пауза в потеплении, после которого возможно как потепление, так и похолодание [4, 5]. Изучение региональной специфики изменения климата необходимо при проведении экологических исследований для понимания процессов, которые происходят в наземных экосистемах, а также при изучении катастрофических явлений [6, 7].

Оценка климатических условий конкретного района исследований может быть сделана по данным наземных пунктов наблюдения метеорологической сети [8]. Однако если вблизи района исследований метеостанция

отсутствует или имеющиеся на ней данные являются недоступными для исследователей или неполными, то оценка климатических условий исследуемой территории может быть затруднена или невозможна. Одним из вариантов решения проблемы получения данных по отдельным климатическим параметрам является использование данных атмосферных реанализов.

Реанализ – это динамически разглаженные и согласованные данные метеонаблюдений с использованием данных, полученных в результате моделирования [9]. При создании реанализов используются данные регулярных станционных, аэрологических и спутниковых наблюдений [10, 11]. В настоящее время исследователям доступны разные варианты реанализов, позволяющие проводить оценку значений метеорологических характеристик для больших по площади территорий за весь период XX в. [9, 12].

Цель, задача, методика и объекты исследования

Цель работы – провести сравнительный анализ данных инструментальных наблюдений на метеостанциях, находящихся на территории Урала и Западной Сибири, и данных реанализов, полученных Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды.

Район исследований – территория Урала и Западной Сибири. В работе были использованы среднемесячные значения приземной температуры воздуха на 92 метеорологических станциях, полученные из архивов ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» [13, 14]. На основе этих данных были рассчитаны среднегодовые температуры воздуха для каждой метеостанции за период с 1961 по 2010 гг., а также средние значения данного показателя за десятилетние периоды (1961–1970, 1971–1980, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2010).

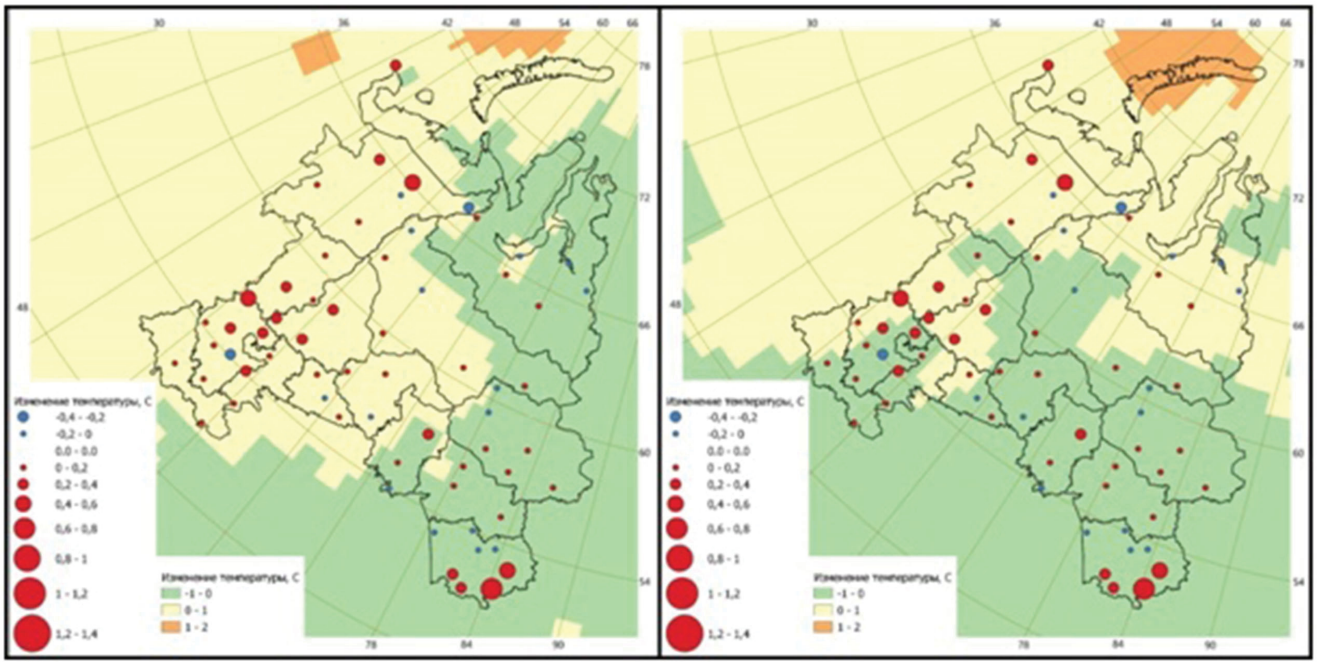
Реанализы ERA-20C и CERA-20C, созданные Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) используются для оценки значений температуры воздуха Северного полушария [12]. Реанализы ERA-20C и CERA-20C охватывают XX в. и первое десятилетие XXI в.

Для оценки изменений температуры воздуха по десятилетним временным интервалам за период с 1961 по 2010 гг. по данным реанализов также были проведены расчеты средних значений температуры за десятилетние временные интервалы, приведенные выше, а затем были рассчитаны растры, характеризующие изменение температуры между соседними десятилетиями. Оценка изменения температуры воздуха между соседними десятилетиями производилась в географической информационной системе QGIS (qgis.org) путем вычитания растра со значениями температуры предыдущего десятилетия из растра со значениями данного показателя текущего десятилетия.

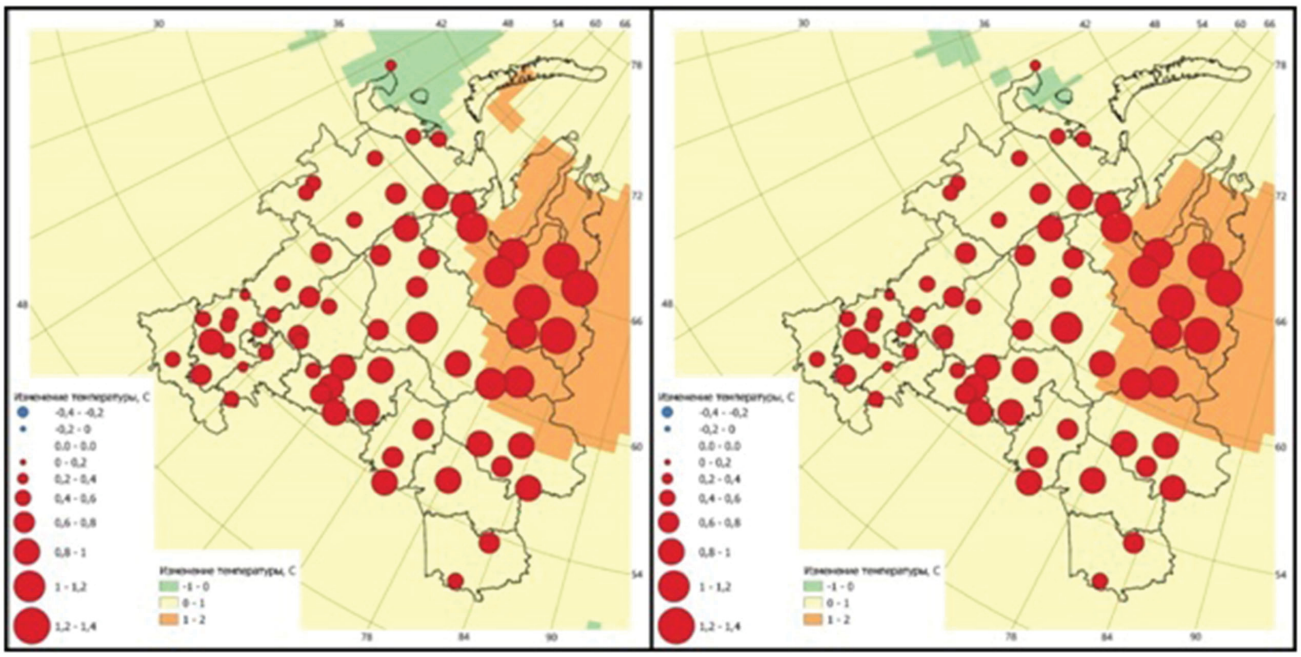
При обработке и анализе инструментальных наблюдений на каждой метеостанции для оценки изменения значений температуры между десятилетиями также вычитали значения показателя предыдущего десятилетия из значения текущего. Если в каком-либо из десятилетий в наборе данных отсутствовали значения температуры хотя бы за один месяц, то расчеты для конкретной станции для этого временного интервал не проводили.

Для создания картосхем использовали векторные слои OSM (openstreetmap.org). Полученные по данным инструментальных наблюдений значения разности температуры между соседними десятилетиями были нанесены на картосхему района исследований условными знаками в виде круговых маркеров разного размера и цвета для каждой метеостанции, находящейся в районе исследований (рис. 1 и 2). Изменение значений температуры воздуха между соседними десятилетиями, полученных с использованием данных реанализов ERA-20C и CERA-20C, на картосхемах (см. рис. 1 и 2) изображено разным цветом.

Значения коэффициентов корреляции среднегодовой температуры за период с 1961 по 2010 гг, рассчитанных по данным метеонаблюдений на метеостанциях и данным реанализов ERA-20C и CERA-20C в местах, где расположены метеостанции, были также нанесены на картосхемы в виде круговых маркеров (рис. 3).

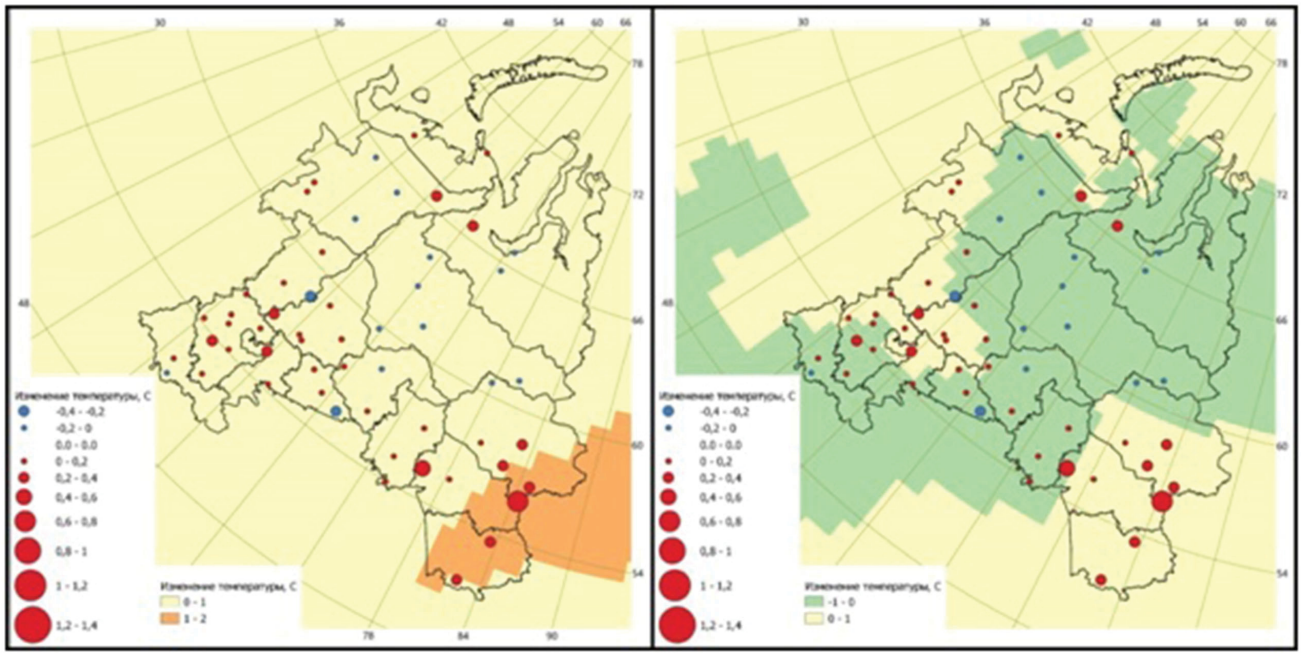


А

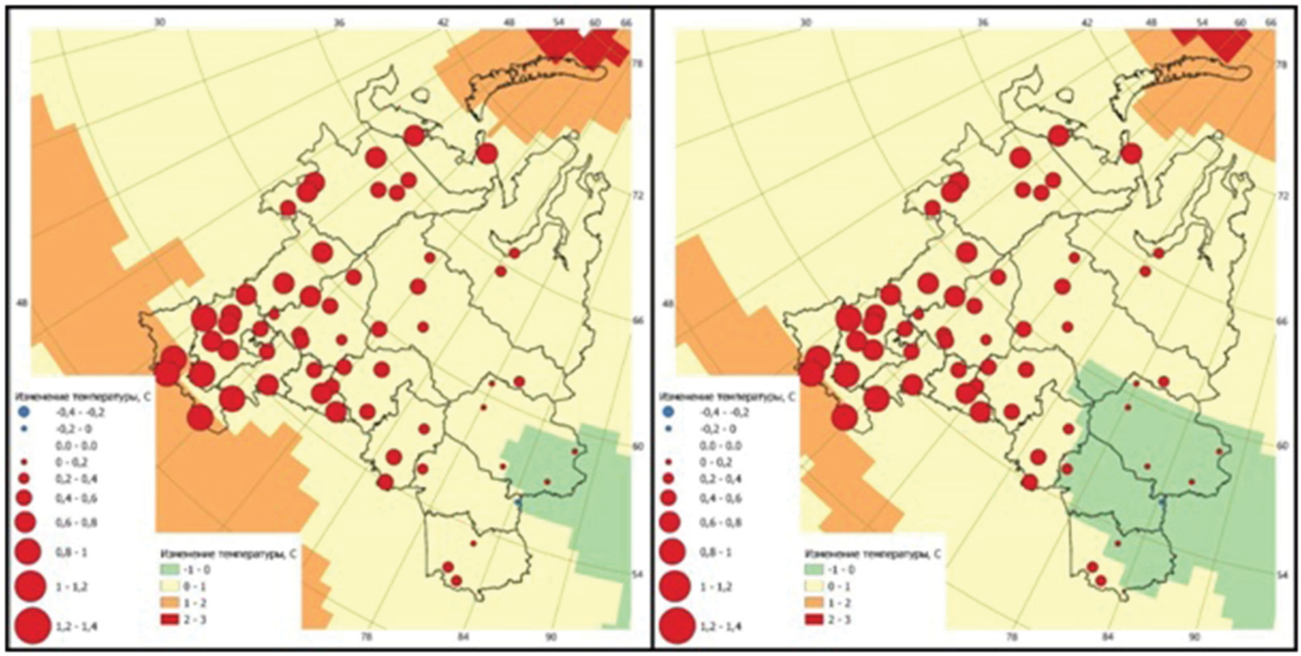


Б

Рис. 1. Картосхемы, характеризующие изменение температуры воздуха как разность между двумя соседними десятилетиями, по данным метеостанций (круговые маркеры) и реанализов (фон):
А – $T_{1971-1980} – T_{1961-1970}$, Б – $T_{1981-1990} – T_{1971-1980}$. В левой части приведены картосхемы ERA-20C, в правой – CERA-20C

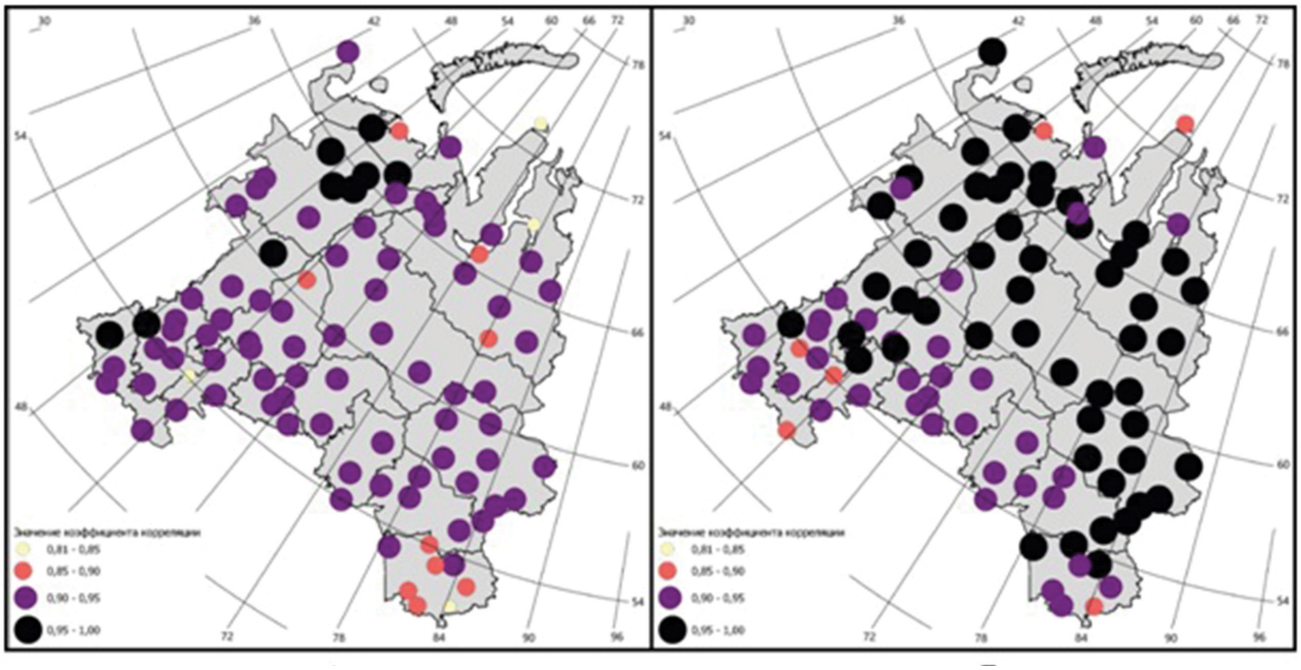


В



Г

Рис. 2. Картосхемы, характеризующие изменение температуры воздуха как разность между двумя соседними десятилетиями, по данным метеостанций (круговые маркеры) и реанализов (фон):
В – $T_{1991-2000} - T_{1981-1990}$, Г – $T_{2001-2010} - T_{1991-2000}$. В левой части приведены картосхемы по данным ERA-20C, в правой – CERA-20C



А Б

Рис. 3. Картосхемы, характеризующие уровни корреляции значений среднегодовой температуры воздуха, по данным метеостанций и реанализов ERA-20C (А) и CERA-20C (Б), в районе исследований

Результаты исследований и их обсуждение

Сравнительный анализ картосхем, приведенных на рис. 1 и 2, свидетельствует о том, что данные реанализа CERA-20C лучше согласуются с данными метеонаблюдений на метеорологических станциях, по сравнению с данными реанализа ERA-20C. При этом для отдельных метеостанций расхождения между данными метеонаблюдений и реанализов могут быть значительными – до знака изменений: потепление по данным метеонаблюдений и похолодание по данным реанализа и наоборот.

Значения коэффициента корреляции между данными метеонаблюдений на станциях и реанализа ERA-20C находятся в диапазоне 0,81–0,97, а для реанализа CERA-20C – 0,86–0,98.

Сравнительный анализ распределения значений коэффициента корреляции среднегодовой температуры на основе реанализов ERA-20C и CERA-20C со значениями этого показателя, рассчитанного на основе данных инструментальных наблюдений на метеостанциях, с использованием картосхем, приведенных на рис. 3, свидетельствует о том, что данные реанализа CERA-20C лучше согласуются с данными метеонаблюдений на большей части исследуемой территории. Исключение составляют только несколько областей в южной части района исследований.

Выводы

Проведен сравнительный анализ среднегодовой и средней за десятилетия с 1961 по 2010 гг. температуры воздуха с использованием реанализов ERA-20C и CERA-20C, разработанных Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды, для территории Урала и Западной Сибири. Установлено, что данные реанализа CERA-20C лучше согласуются с данными метеонаблюдений на 92 станциях, расподоженных в районе исследований. При этом необходимо отметить, что использование значений температуры, полученных по реанализам, при проведении исследований пространственно-временной динамики растительности для конкретного района исследований целесообразно после проверки согласованности данных реанализа с данными метеоаблюдений.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (грант FEUG-2020-0013) и при финансовой поддержке РФФИ (грант 19-05-0059 «Древесно-кольцевые хронологии как архив погодно-климатических условий на юге Урала и Западной Сибири»).

Библиографический список

1. МГЭИК, 2007 : Изменения климата, 2007: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II, III в четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата. – МГЭИК, Женева, Швейцария. – 104 с.
2. Решетько М. В., Моисеева Ю. А. Климатические особенности и статистические оценки изменения элементов климата в районах вечной мерзлоты на территории севера Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 4. – С. 108–118.
3. Шерстюков Б. Г. Климатические условия Арктики и новые подходы к прогнозу изменения климата // Арктика и Север. – 2016. – № 24. – С. 39–67.
4. Шерстюков Б. Г. Прогностические оценки изменений климата на два десятилетия. – URL: http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/258-climate-change (дата обращения: 28.09.2020).
5. Шерстюков Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. – Обнинск : Изд. ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 2008. – 246 с.
6. Шалаумова Ю. В., Фомин В. В., Капралов Д. С. Пространственно-временная динамика климата на Урале во второй половине XX века // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 2. – С. 44–54.
7. Фомин В. В., Ундерских М. Г., Михайлович А. П. Пространственные закономерности изменения температуры и осадков на Урале и в Западной Сибири во второй половине XX – начале XXI веков // Экосистемные услуги и менеджмент природных ресурсов. – Тюмень, 2020. – С. 296–300.
8. Кондратюк В. И. Модернизация метеорологической сети РосГидроМета // Труды главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. – СПб., 2011. – № 564. – С. 19–39.
9. Гавриков А. Атмосферные реанализы. – URL: https://ocean.ru/phocadownload/pl_univer/pl_univer_2019_01.pdf (дата обращения: 18.10.2020).
10. Васильев М. С., Николашкин С. В., Каримов Р. Р. Сравнение приземной температуры воздуха в Якутии по данным реанализа и наземных наблюдений // Вестник СВФУ. – 2014. – Т. 11. – № 5. – С. 82–88.
11. Kalnay E., et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1996. – № 77. – P. 437–471.
12. Бокучава Д. Д., Семенов В. А. Анализ аномалий приземной температуры воздуха в Северном полушарии в течение XX века по данным наблюдений и реанализов // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2018. – № 1. – С. 28–51.
13. Специализированные массивы. – URL: http://meteo.ru/data (дата обращения: 01.05.2020).
14. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России / Булыгина О. Н., Разуваев В. Н., Коршунова Н. Н., Швец Н. В. : Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394. – URL: http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных (дата обращения: 01.05.2020).

Bibliography

1. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. – 104 p.

2. Reshetko M. V., Moiseeva, Y. A. Climatic features and statistical evaluation of climate change in permafrost regions in the north of Western Siberia // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2016. – V. 327. – No. 4. – P. 108–118.

3. Sherstyukov B. G. The climatic conditions of the Arctic and new approaches to the forecast of the climate change // Arctic and North. – 2016. – No. 24. – P. 39–67.

4. Sherstyukov B. G. Prognostic estimates of climate change for two decades. – URL: http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/258-climate-change (date accessed: 28.09.2020).

5. Sherstyukov B. G. Regional and seasonal patterns of changes in the modern climate. – Obninsk : Ed. RIHMI-WDC, 2008. – 246 p.

6. Shalaumova Y. V., Fomin V. V., Kapralov D. S. Spatiotemporal dynamics of the Urals' climate in the second half of the 20th century // Russian Meteorology and Hydrology. – 2010. – No. 2. – P. 44–54.

7. Fomin V. V., Underskikh M. G., Mikhailovich A. P. Spatial patterns of temperature and precipitation changes in the Urals and Western Siberia in the second half of the XX-early XXI centuries // Ecosystem services and natural resource management / Tyumen. – 2020. – P. 296–300.

8. Kondratuk V.I. Modernization of a meteorological network: conclusion and results // Proceedings of Voeikov Main Geophysical observatory. – Saint-Petersburg, 2011. – No. 564. – P. 19–39.

9. Gavrikov A. Atmospherical reanalyses. – URL: https://ocean.ru/phocadownload/pl_univer/pl_univer_2019_01.pdf (date accessed: 18.10.2020).

10. Vasiliev M. S., Nikolashkin S. V., Karimov R. R. Comparison of surface air temperatures variations in Yakutia derived from reanalysis and ground measurements // Vestnik of NEFU. – 2014. – V. 11. – No. 5. – P. 82–88.

11. Kalnay E., et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1996. – № 77. – P. 437–471.

12. Bokuchava D. D., Semenov V. A. Analysis of surface air temperature anomalies in the northern hemisphere in the 20th century using observational and reanalysis data // Fundamental and applied climatology. – 2018. – No. 1. – P. 28–51.

13. Specialized data arrays for the climate research. – URL: http://meteo.ru/data (date accessed: 01.05.2020).

14. Description of the data array of monthly precipitation amounts at Russian meteorological stations / Bulygina O. N., Razuvaev V. N. Korshunova N. N., Shvets N. V. Certificate of state registration of the database No. 2015620394. – URL: http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных (date accessed: 01.05.2020).